



# Aurinkoenergian varastoiminen maalämpökaivoon

Joonas Lamminpää

OPINNÄYTETYÖ  
Tammikuu 2020

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Sähkövoimatekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Sähkövoimatekniikka

LAMMINPÄÄ, JOONAS:  
Aurinkoenergian varastoiminen maalämpökaivoon

Opinnäytetyö 30 sivua  
Tammikuu 2020

---

Opinnäytetyössä oli tarkoitus miettiä tapoja, joilla aurinkoenergiaa voitaisiin varastoida maalämpökaivoon. Työssä pohdittiin myös varastoimisen tuomista hyödyistä.

Tiukentuvat energiamääräykset ja huoli ilmastonmuutoksesta ovat kasvattaneet uusiutuvien energialähteiden käyttöä ympäri maailmaa viime vuosina. Tämä on kasvattanut aurinkosähkö- ja maalämpöjärjestelmien määrää Suomessa.

Maalämpökaivon lämpötila putoaa käytön myötä. Tämän myötä myös maalämpöjärjestelmän lämpöenergian tuotanto pienenee. Jotta maalämpöjärjestelmän tuottama lämpöenergia ei pienenisi käytön myötä on maalämpökaivoon laitettava lämpöenergiaa. Aurinkosähköjärjestelmät tuottavat usein ylijäämäsähköä, jota voitaisiin mahdollisesti hyödyntää maalämpökaivon lämmityksessä.

Työssä esiteltiin kolmea eri tapaa, joiden avulla ylijäämäenergiaa voitaisiin hyödyntää maalämpökaivossa. Lisäksi työssä tutustuttiin maalämpökaivon viilenemisen ja lämmityksen vaikutuksista maalämpöjärjestelmään.

Selvityksen perusteella aurinkoenergiaa voidaan varastoida maalämpökaivoon. Aurinkosähköenergian varastoiminen maalämpökaivoon vähentää maalämpökaivon viilenemistä ja parantaa maalämpöpumpun tehokerrointa, sekä pidemmällä, että lyhyellä aikavälillä. Asiasta pitäisi tehdä enemmän tutkimusta, jotta saataisiin selville, onko kaivon lämmittäminen kannattavaa.

---

Asiasanat: aurinkoenergian varastoiminen, maalämpö, maalämpökaivo

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme in Electrical Engineering  
Electrical Power Engineering

LAMMINPÄÄ JOONAS:  
Storing Solar Energy into an Energy Borehole

Bachelor's thesis 30 pages  
January 2020

---

The purpose of this thesis was to determine ways to store solar energy into an energy borehole. Also, the benefits of storing were considered.

Stricter energy consumption regulations and the rising concern about climate change has increased the usage of renewable around the world energy sources. This has increased the amount of solar and geothermal energy systems in Finland.

Usage of geothermal power lowers temperature inside of a borehole. This leads to geothermal system having lower performance and lower energy yield. To prevent this from happening, one must store thermal energy into a borehole. Solar energy systems often produce excess energy that cannot be utilized.

In this thesis three different methods were presented how to store excess solar energy into a borehole. Also, it was discussed how cooling and heating borehole affects geothermal energy system.

The findings indicate that it is possible to store solar energy into a borehole. Storing solar energy into a borehole decreases the amount of temperature drop during its lifetime and increases the performance of a geothermal energy system. But more research should be done to find out how effective this is and is it profitable to do so.

---

Key words: storing solar power, geothermal power, energy borehole

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	AURINKOSÄHKÖENERGIA .....	7
2.1	Aurinkosähkön tekniikka.....	7
2.1.1	Aurinkopaneelit.....	8
2.1.2	Vaihtosuuntaaja eli invertteri.....	9
2.1.3	Akusto ja latausohjain.....	9
2.2	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus ja tuotanto .....	10
2.2.1	Pohjakulutukseen perustuva mitoitus .....	11
2.2.2	Keskimääräinen tai enimmäiskulutus kesällä .....	11
2.2.3	Nollaenergiamitoitus .....	11
2.2.4	Aurinkosähköjärjestelmän tuotanto.....	12
3	MAALÄMPÖ.....	15
3.1	Maalämpöjärjestelmä .....	16
3.2	Maalämpöjärjestelmän mitoitus.....	18
4	AURINKOENERGIAN VARASTOIMINEN MAALÄMPÖKAIVON .....	20
4.1	Aurinkolämpöjärjestelmä ja maalämpöjärjestelmä .....	20
4.2	Puhallinkonvektori ja maalämpöjärjestelmä .....	21
4.3	Lämmitysvastus ja maalämpöjärjestelmä .....	22
4.3.1	Maalämpökaivon viileneminen.....	23
4.3.2	Maalämpökaivon lämmittäminen .....	26
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	28
	LÄHTEET .....	29

**LYHENTEET JA TERMIT**

$W_p$	piikkiwatti, W
kWh	kilowattitunti
TRT-mittaus	terminen vastetest
DTRT-mittaus	hajautettu terminen vastetest
COP	tehokerroin
SCOP	kausittainen tehokerroin
ylijäämä	aurinkosähköllä tuotettu sähkö, jota ei voida hyödyntää itse

## 1 JOHDANTO

Uusiutuvien energianlähteiden käyttö on kasvanut Suomessa tiukentuvien energiamääräysten ja ilmastonmuutoksen aiheuttaman huolen myötä. Myös uusiutuvien energijärjestelmien hankintakustannukset ovat pudonneet viime vuosina, tehden niistä jopa kannattavia. Aurinkosähköenergia ja maalämpö lukeutuvat näihin uusiutuviin energioihin ja niitä käsitellään tässä opinnäytetyössä. On huomattu, että maalämpökaivon lämpötila putoaa käytön myötä, joka taas huonontaa maalämpöjärjestelmän hyötysuhdetta. Aurinkosähköjärjestelmät toisaalta tuottavat usein ylijäämää, eli sähköä, jota ei voida hyödyntää. Tästä on herännyt idea, että aurinkosähköllä ja sen ylijäämällä, lämmitettäisiin maalämpökaivoa, parantaen maalämpöjärjestelmän hyötysuhdetta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on esitellä, kuinka aurinkoenergiaa voidaan varastoida maalämpökaivoon lämpönä. Lisäksi työssä selvitettiin, kuinka maalämpökaivon lämpötila putoaa käytön vaikutuksesta ja kuinka kaivoon syötetty lämpö varastoituu.

Opinnäytetyössä esiteltiin kolme eri tapaa, joilla aurinkoenergiaa voidaan varastoida maalämpökaivoon. Kahdessa tapauksessa aurinkoenergiaa varastoidaan maalämpökaivoon olemassa olevien järjestelmien avulla ja yhdessä esitellään, kuinka aurinkosähköenergialla tuotettua lämpöenergiaa voitaisiin varastoida maalämpökaivoon.

Tämä opinnäytetyö on kirjallisuustutkimus. Työn lähteinä toimi pääasiassa verkkolähteet, sillä kirjallisuutta löytyy aiheesta melko vähän.

## 2 AURINKOSÄHKÖENERGIA

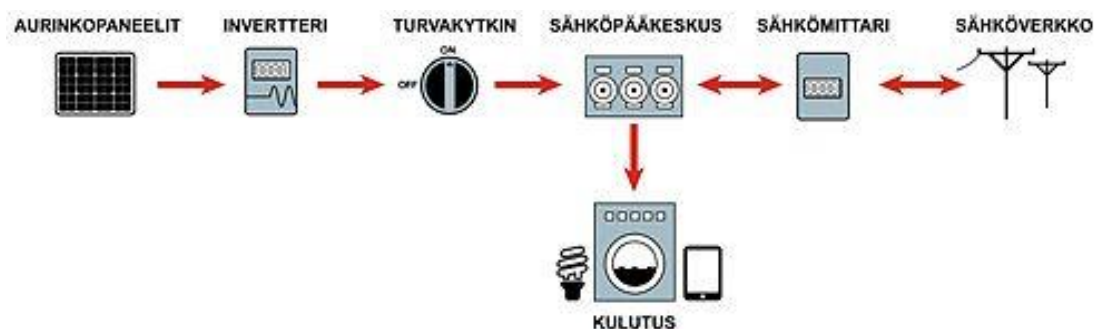
Aurinkoenergian käyttö sähkön tuotannossa on kasvanut maailmalla voimakkaasti viime vuosina. Myös Suomessa aurinkosähkön osa sähköntuotannosta on kasvussa. Aurinkosähkö alkaa olla taloudellisesti kannattavaa ja tekniikka halventuu nopeasti. Tämä parantaa aurinkosähkön kannattavuutta ja luo positiivisen kierteen aurinkosähkölle energiamarkkinoilla. (Tahokorpi, ym. 2016,135.)

### 2.1 Aurinkosähkön tekniikka

Aurinkosähkö on sähköä, joka on tuotettu muuntamalla auringon tuottama säteilyenergia sähköenergiaksi. Aurinkosähköä tuotetaan aurinkosähkölaitteistolla, joka koostuu joko kahdesta tai kolmesta osasta. Nämä osat ovat:

- Aurinkopaneelit
- Vaihtosuuntaaja eli invertteri (pakollinen verkkoon kytketyissä järjestelmissä)
- Latausohjain ja akusto (pakollinen verkkoon kytkemättömissä järjestelmissä)

Akustoa ei välttämättä tarvitse verkkoon kytketyissä aurinkosähkölaitteistojen järjestelmissä ja on tällä hetkellä vielä taloudellisesti kannattamatonta Suomessa. (Tahokorpi, ym. 2016,136.) Yleisimmin käytetyn aurinkosähkölaitteistojen rakenteen on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Verkkoon kytketty aurinkosähkölaitteisto (Motiva, 2016)

### 2.1.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit koostuvat useista piistä valmistetuista aurinkokennoista, jotka tuottavat sähköä valosähköisen ilmiön ja PN-liitoksen avulla. Yksittäinen aurinkokenno luo n. 0,6 V:n jännitteen, mutta kytkemällä kennoja sarjaan ja rinnan, saadaan muodostettua piiri, jolla saavutetaan haluttu nimellisteho. (Perälä, 2017, 29, 42).

Paneelien nimellistehoa kutsutaan piikkiwatiksi ( $W_p$ ). Paneelin piikkiwatti on teho, jonka paneelin tulisi tuottaa standardiolosuhteissa (STC). Standardiolosuhteissa kennojen lämpötila on 25 °C, ilmamassa (AM) on 1,5 ja säteilyn määrä on 1000 W/m<sup>2</sup>. Suomessa tällaisia olosuhteista vastaisi kirkas ja kylmä kevät- tai syyspäivä. Aurinkoisina kesäpäivinä paneelit saavuttavat nimellistehonsa puolenpäivän molemmin puolin myös Suomessa. (Tahokorpi, ym. 2016, 136.). Suuri osa markkinoilla olevista aurinkopaneelien kennoista on valmistettu joko yksi- tai monikiteisestä piistä. Näiden paneelien hyötysuhteet vaihtelevat n. 14 – 20 % välillä riippuen kennoissa käytetyn piin rakenteesta. (Eicker, 2014, 463.)

Yksi aurinkopaneelien parhaista puolista on sen huoltovapaus. Sade pesee paneeleita ajoittain ja pitää ne kohtuullisen puhtaina. Lehdet ja muut irtoroskat on kuitenkin parasta poistaa mahdollisimman nopeasti, sillä jopa yhden kennon varjostuminen paneelissa, voi rampauttaa kaikki samaan sarjaan kytkettyjen kennojen sähköntuotannon. (Boxwell, 2013, 156).

Aurinkopaneelien käyttöikäksi on arvioitu n. 25 vuotta, mutta se voi helposti ylittyä. Paneelien vanhetessa niiden tuotanto pienenee ajan myötä. Käyttöikänsä loppupuolella paneelit tuottavat n. 80–90 % verrattuna sen alkuperäiseen tuotantoon. (Boxwell, 2013, 71).



### **2.1.2 Vaihtosuuntaaja eli invertteri**

Invertteri on pakollinen osa aurinkosähköjärjestelmää, jos järjestelmä asennetaan kohteeseen, joka on liitetty valtakunnalliseen sähköverkkoon. Invertteri muuntaa paneelien tuottaman tasavirran (DC) vaihtovirraksi (AC). Invertterien hyötysuhde on tällä hetkellä saatavilla olevilla järjestelmillä pääsääntöisesti yli 90 %. (Perälä, 2017, 78).

Invertterin käyttöikä voi Suomen olosuhteissa olla yli 20 vuotta, jos se on kytketty hyvänlaatuisen verkkoon. Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa oletetaan, että invertteri vaihdettaisiin kerran järjestelmän elinkaaren aikana. (Perälä, 2017, 79).

### **2.1.3 Akusto ja latausohjain**

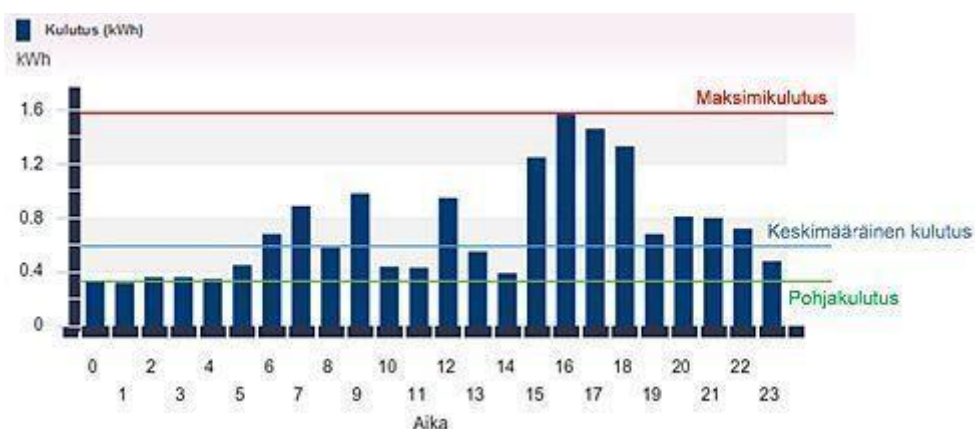
Akustolla varastoidaan aurinkosähkön tuottama energia myöhempää käyttöä varten. Akusto koostuu yleensä lyijyakkujen kennoista, jotka on kytketty sarjaan 12 tai 24 V:n jännitteen saavuttamiseksi. (Perälä, 2017, 53).

Akusto on pakollinen vain verkkoon kytkemättömissä verkoissa. Lisäksi se ei ole taloudellisesti kannattava tällä hetkellä Suomessa verkkoon kytketyissä järjestelmissä. Aurinkoenergia on tällä hetkellä hyödyllisintä käyttää samalla kuin sitä tuotetaan esimerkiksi käyttöveden lämmittämiseen tai mahdollisesti sähköauton lataamiseen. (Tahkokorpi, ym. 2016, 136.)

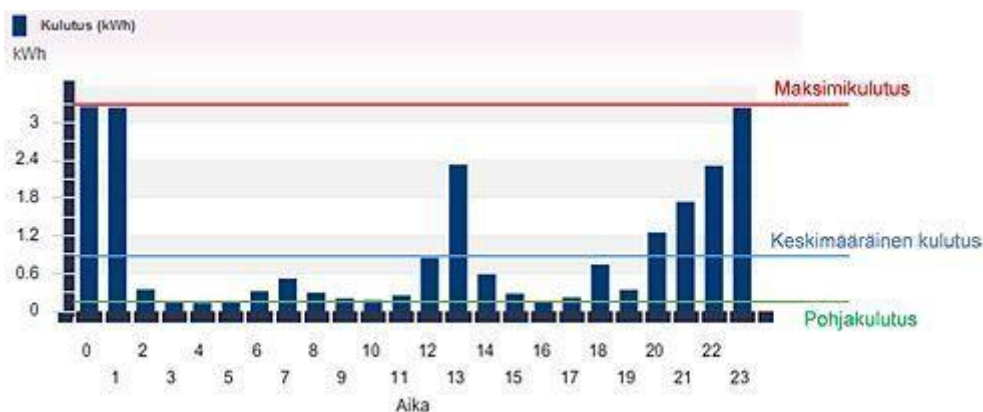
Latausohjaimella nimensä mukaisesti ladataan akustoa. Latausohjain laskee aurinkopaneelien tuottaman jännitteen akkujen lataamiseen sopivaksi. Lisäksi se valvoo akkujen varaustilaa lopettaen akkujen varauksen niiden ollessa täynnä ja estäen ylilatauksen. (Perälä, 2017, 70).

## 2.2 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus ja tuotanto

Peruseriaatteena aurinkosähköjärjestelmän koon valitsemisessa on tällä hetkellä se, että tuotetusta aurinkosähköstä mahdollisimman suuri osa tulisi hyödyntää omassa kulutuksessa. Koon valitsemiseen vaikuttaa oleellisesti myös talon lämmitystyyppi, koska lämmitysmuoto vaikuttaa suuresti sähkönkulutukseen, kuten nähdään kuvista 2 ja 3. (Motiva, 2018).



KUVA 2. Ei-sähkölämmitteisen omakotitalon sähkönkulutusprofiili heinäkuussa (Motiva, 2018).



KUVA 3. Sähkölämmitteisen omakotitalon sähkönkulutusprofiili heinäkuussa (Motiva, 2018).

Aurinkosähköjärjestelmien mitoitukseen on käytettävissä erilaisia laskentatapoja riippuen siitä mihin tulokseen pyritään.

### **2.2.1 Pohjakulutukseen perustuva mitoitus**

Pohjakulutukseen perustuvalla mitoituksella paneelien yhteenlaskettu teho tulisi vastata pienintä jatkuvaa tehon tarvetta päiväsaikaan. Tällä tavalla mitoitetulla järjestelmällä varmistetaan, että suurin osa tuotetusta aurinkoenergiasta tulisi omaan käyttöön. Tällöin saadaan myös tällä hetkellä lyhyin järjestelmän takaisinmaksuaika. Pohjakulutus kotitalouksissa on kumminkin hyvin pieni osa verrattuna sähkön vuosittaiseen kokonaiskulutukseen. (Motiva, 2016)

### **2.2.2 Keskimääräinen tai enimmäiskulutus kesällä**

Kesän keskimääräiseen tai enimmäiskulutukseen perustuvalla mitoituksella pyritään siihen, että kesäkaudella suurin osa sähkön kulutuksesta voidaan kattaa aurinkosähköllä. Tällöin aurinkosähkön tuotanto ylittää usein oman sähkön tarpeen tuotannon huippuhetkinä ja ylijäämäsähkö syötetään verkkoon tai varastoidaan jollain menetelmällä. Ylijäämäsähkön energia voidaan varastoida esim. akustoihin tai muutettuna lämmöksi, lämminvesivaraajaan. (Motiva, 2016)

### **2.2.3 Nollaenergiamitoitus**

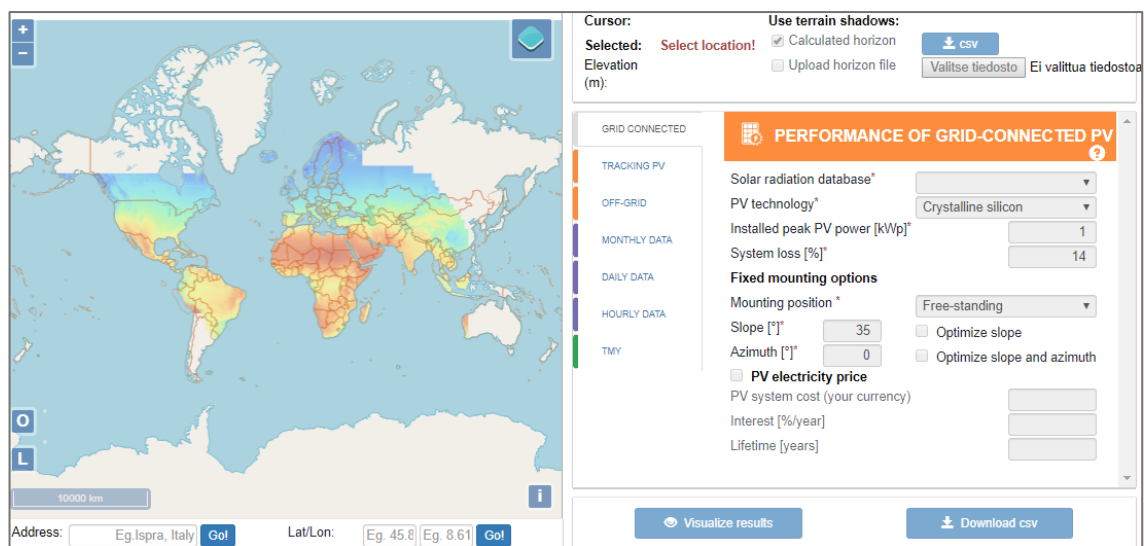
Nollaenergiamitoituksella pyritään pääsemään tilanteeseen, jolloin aurinkosähköjärjestelmä tuottaisi keskimäärin yhtä paljon kuin on kohteen keskimääräinen energian kulutus. Tällöin kesäkaudella tuotettaisiin runsaasti ylijäämäsähköä, jota sitten myytäisiin verkkoon. Vaikka järjestelmä olisikin mitoitettu näin, niin talvella tuotanto jää reilusti alle oman tarpeen, sillä tyypillisesti suurimpina sähkönkulutuksen kuukausina (joulu-helmi) aurinkosähkön tuotanto jää suomessa hyvin vähäiseksi. (Motiva, 2016)

## 2.2.4 Aurinkosähköjärjestelmän tuotanto

Aurinkosähköjärjestelmän tuotantoon vaikuttaa merkittävimmin kennojen lämpötila, varjostukset ja paneelien suuntaus, sekä asennuskulma. Kennojen lämpötilaan voidaan vaikuttaa paneelien asennustavalla. Hyvin tuulettuva asennus pitää kennojen lämpötilan matalammalla. Alhaisessa lämpötilassa kennon tyhjäkäyntijännite nousee, jolloin aurinkopaneeli tuottaa suuremman sähkötehon. Varjostukset paneeleilla vaikuttavat huomattavasti tuotantoon. Jo yhden kennon varjostuma paneelilla voi pienentää koko paneelin tuotantoa 33-50 %. Varjostukset ovat yleensä puita, korkeita rakennuksia tai paneelien päälle tippuneita lehtiä. Suomessa paneelit suositellaan asennettavaksi kohti etelää 40 asteen kulmassa. Mutta tämä ei aina toteudu, koska paneelit asennetaan yleensä katolle sen suuntauksen ja kallistuksen mukaan.

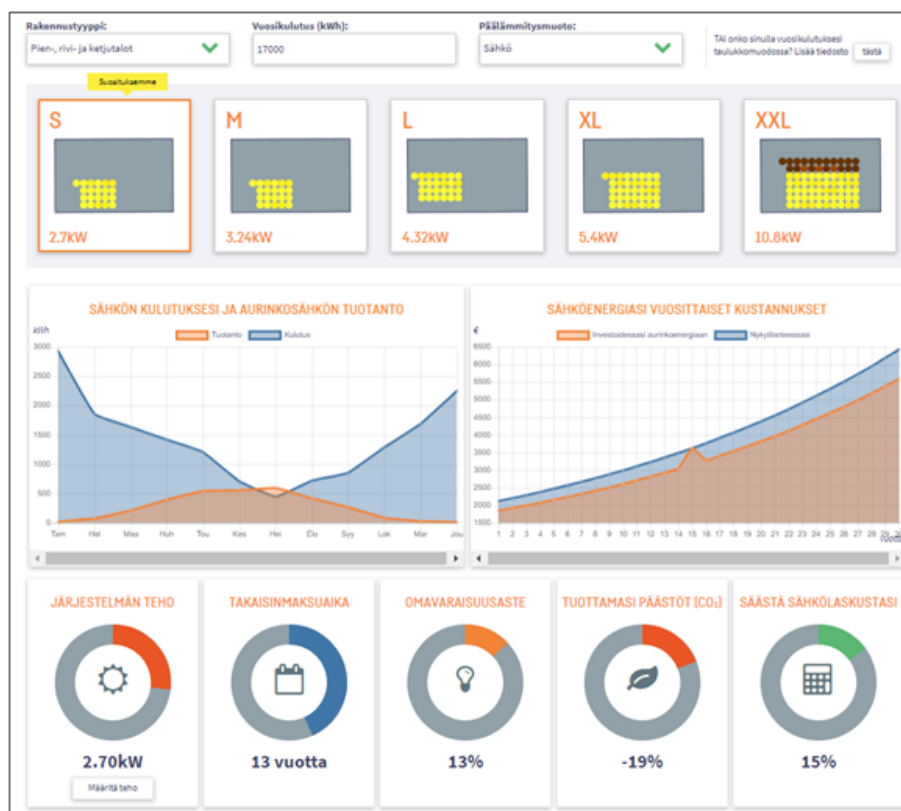
Aurinkosähköjärjestelmän sähköenergian tuotannon arvioimiseen on useita tapoja. Verkkolaskureiden suosio ja määrä on kasvanut paljon viime vuosina aurinkosähkön yleistyessä. Verkkolaskureilla saadaan usein tarkempia tuloksia kuin käsin laskemalla ja niiden käyttö vie huomattavasti vähemmän aikaa ja vaivaa.

Euroopan komission ylläpitämä ja kehittämä PVGIS (Photovoltaic geographical information system) –verkkolaskuri laskee vuosittaisen, kuukausittaisen tai päivittäin tuotetun aurinkosähkön, sekä paneelille osuvan säteilyn määrän suuressa osassa maailmaa. Tulokset perustuvat yli 10 vuoden ajan kerättyihin tunti arvoihin. Laskuri pystyy myös määritelmään paneelit parhaaseen mahdolliseen kulmaan ja suuntaan. Kuvassa 4 on esitetty PVGIS -verkkolaskurin käyttöliittymä.



KUVA 4. PVGIS –verkkolaskuri (Euroopan komissio, 2017)

Toinen esimerkki verkossa olevasta laskurista on Sun Energian luoma laskuri, jota useat yritykset käyttävät aurinkojärjestelmien mitoittamiseen. Laskuri käyttää Ilmatieteen laitoksen säädata-aineistoa, maanmittauslaitoksen rakennustietoja ja tilastokeskuksen sähköhintatietoja apunaan laskennassa. Laskurin kartassa on mallinnettu talojen ja rakennusten kattojen pinta-ala, sekä otettu huomioon katon suuntaus, kallistuskulmat, rakenteet ja varjostustekijät. Kuvan 5 mukaisesti laskuri ehdottaa aurinkosähköjärjestelmän kokoa perustuen antamiisi tietoihin. Laskuri tuottaa myös arvion kohteen vuotuiselle sähkönkulutukselle, sekä aurinkosähköntuotannolle eri kuukausina.



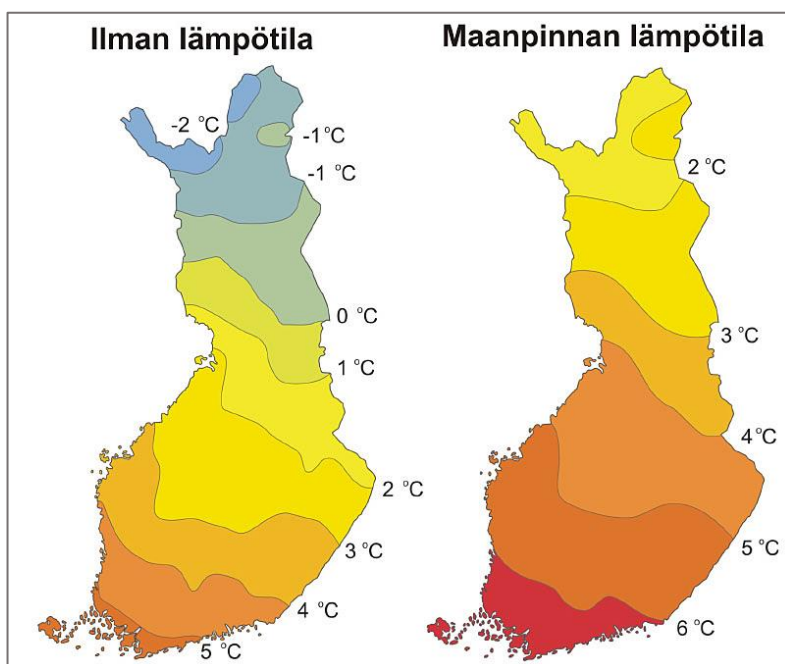
KUVA 5. Esimerkki Sun Energian -verkkolaskurin antamista tuloksista (Sun Energian 2019, muokattu)

### 3 MAALÄMPÖ

Maalämpö, tai usein geoenergia, on maa- ja kallioperään sekä vesistöihin varastoitunutta energiaa. Maalämpö on uusiutuvaa energiaa, joka on peräisin aurinkosta ja maan sisäisestä energiasta. (GTK, n.d.)

Maalämmön suosio on lähtenyt kasvuun vuosituhannen vaihteessa. Osana kasvun syytä voidaan pitää Suomen ja EU:n tavoitteita uusiutuvien energianlähteiden käytöstä. (TEM, n.d.)

Maapinnan keskilämpötila Suomen eri alueilla on esitetty kuvassa 6. Maanpinnan lämpötilat vaihtelevat vuodenajan mukaan, mutta syvemmillä maassa (n. 14-15 m:n syvyydessä) lämpötilat vakiintuvat keskilämpötiloihin vuodenajasta riippumatta. (Ympäristöopas, 2013, 7)

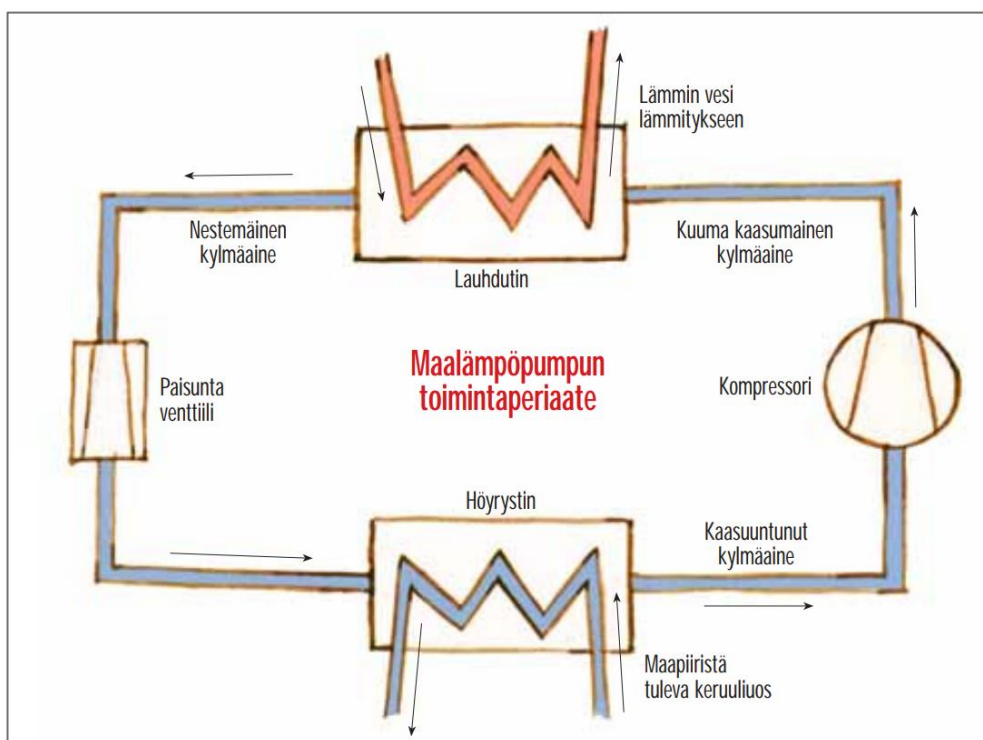


KUVA 6. Ilman ja maanpinnan keskilämpötilat Suomessa (GTK, Niina Leppäharju, n.d.)

### 3.1 Maalämpöjärjestelmä

Jotta maassa olevaa lämpöä voidaan hyödyntää, tarvitaan maalämpöjärjestelmä. Maalämpöjärjestelmä koostuu yksinkertaistettuna kahdesta osasta; maalämpöpumpusta ja maapiiristä.

Maalämpöpumppu siirtää maasta tuodun lämmön lämmitysjärjestelmään. Maalämpöpumpun toimintaperiaate on samanlainen kuin esimerkiksi jääkaapin lämpöpumpun ja se on esitetty kuvassa 7. Maalämpöpumppu koostuu kompressorista, paisuntaventtiilistä ja lämmönvaihtimesta (höyrystin ja lauhdutin). Maapiiristä tuleva ”lämmin” lämmönkeruuliuos (yleensä etanoliseos) tulee höyrystimelle, josta sen lämpö siirtyy lämmönkeruupiirissä kulkevalle n. -10 °C kylmäaineelle (yleensä fluorihilivetyä). Lämmennyt kylmäaine muuttuu höyryksi, jonka jälkeen höyry puristetaan kasaan kompressorilla, nostaen kaasun lämpötilaan (Avogadron laki). Kuuma kylmäainehöyry johdatetaan lauhduttimeen, jossa kylmäaineen lämpö siirtyy lämmitysverkon veteen. Jäähdytynyt kylmäaine muuttuu takaisin nestemäiseksi ja kulkee paisunta venttiilin läpi, pienentäen painetta ja alentaen lämpötilaa. (Motiva, 2012)



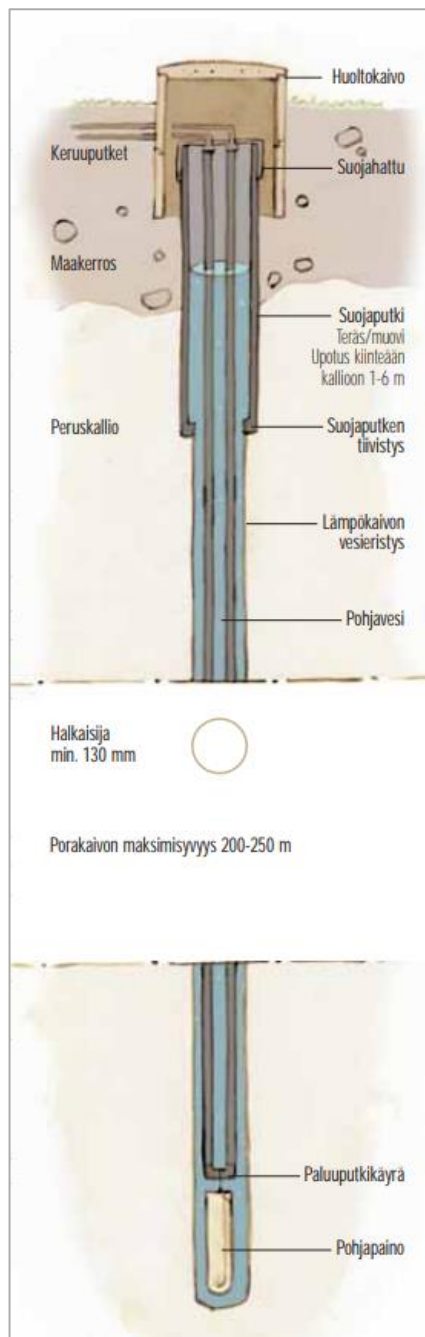
KUVA 7. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Motiva, 2012)



Maalämpöpumppu tarvitsee toimiakseen sähköä ja sen hyötysuhdetta kuvataan yleensä COP- tai SCOP-arvolla. COP-arvo kertoo pumpun tehokertoimen, eli kuinka paljon energiaa pumppu tuottaa käytettyyn sähkö verrattuna. Esim. jos pumpun COP-arvo on 4,3, pumppu tuottaa 4,3 kW energiaa, jokaista sen kuluttamaa 1 kW kohti. Porakaivosta otettu energia olisi tällöin 3,3 kW. SCOP-arvo kertoo kausittaisen tehokertoimen. SCOP ottaa huomioon eri lämmityskaudet ja ilmasto-olosuhteet. SCOP antaa paremman kuvan laitteen todellisesta tehokertoimesta.

Maapiirin lämmönkeruupiiri kerää maahan sitoutunutta lämpöä ja tuo sen maalämpöpumpulle. Keruuputkistossa kiertävä lämmönkeruuliuos on yleensä etanoliseosta, jotta se ei jäätyisi talven pakkasilla. Lämmönkeruuliuos lämpenee muutaman asteen kierroksellaan maapiirissä. Porakaivo on yleisin maapiirin tyyppi. Toisia maapiirien tyyppejä ovat pintamaahan asennettu vaakaputkisto tai vesistön pohjaan upotettu putkisto.

Porakaivon rakenne on esitetty kuvassa 8. Porakaivo on maksimissaan 200–250 metriä syvä kallioon porattu reikä. Porattavan kaivon syvyys riippuu siitä, kuinka paljon lämmitystä rakennus tarvitsee. Jos yksi porakaivo ei riitä, niin on mahdollista porata useampia kaivoja 15–20 metrin välein. Porakaivo täyttyy tai täytetään vedellä paremman lämmönsiirron saavuttamiseksi. Jos porakaivo porataan osittain maahan, sen maaosuudelle on asennettava suojaputki, joka estää pintavesien sekoittumisen pohjaveteen.



KUVA 8. Maapiirin rakenne (Motiva, 2012)

### 3.2 Maalämpöjärjestelmän mitoitus

Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa joko osatehoiseksi tai täysitehoiseksi. Osa-tehoinen lämpöpumppu mitoitetetaan 60-80 %:iin huipputehontarpeesta. Tällä tehomäärällä pitäisi pystyä tuottamaan n. 95-99 % rakennuksen vuotuisesta läm-

mitysenergista. Loput 1–5 % tuotetaan muulla tavalla esimerkiksi maalämpöpumpun lisävastuksella. Täysitehoinen maalämpöpumppu puolestaan tuottaa kaiken tarvittavan lämmitysenergian ilman apuja ympärivuoden. (Motiva, 2011)

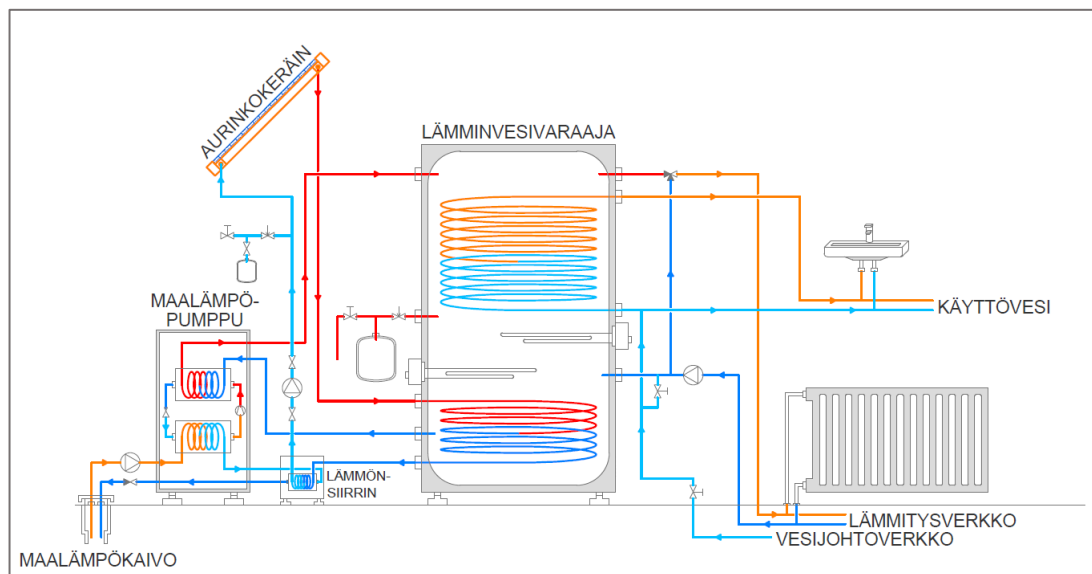
Lämpökaivon syvyys ja porareikien määrä riippuu rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta, rakennuksen sijainnista ja kallioperän kivilajien lämmönjohtavuudesta. TRT -mittausmenetelmällä (Thermal Response test) voidaan selvittää kallioperän ominaisuuksia ja lämpökaivo voidaan mitoittaa paremmin. Maalämpökaivon mitoittamiseen tulisi aina kysyä apua asiantuntijalta. (Ympäristöministeriö, 2013)

#### 4 AURINKOENERGIAN VARASTOIMINEN MAALÄMPÖKAIVOON

Aurinkoenergian varastoiminen maalämpökaivoon ei ole yleistä, mutta se on mahdollista. Varastoimalla aurinkoenergiaa maalämpökaivoon, sen kausittaista viilenemistä voidaan pienentää. Kaivon elpymistä talven jälkeen voidaan myös nopeuttaa. (Motiva, 2019) Tällä hetkellä maalämpökaivoa voidaan lämmittää aurinkolämpöjärjestelmällä tai puhallinkonvektorin avulla. Maalämpökaivon lämmittämistä suoralla aurinkosähköllä ei löytynyt lähteitä, mutta sen periaatetta käsitellään luvussa 4.3.

#### 4.1 Aurinkolämpöjärjestelmä ja maalämpöjärjestelmä

Aurinkolämpöjärjestelmää voidaan käyttää maalämpöjärjestelmän rinnalla lämmityksessä esimerkiksi kuvan 9 esittämällä tavalla. Aurinkolämpöjärjestelmällä voidaan myös lämmittää maalämpökaivoa siirtämällä lämpöä erillisellä lämmönsiirtimellä aurinkokeräimen keruunliuoksesta maalämpöpiirin keruuliuokseen. Tämä viilentää aurinkokeräimiin menevää keruuliuosta parantaen sen lämmönsiirtekykyä, jolloin aurinkokeräimestä saadaan parempi hyöty.



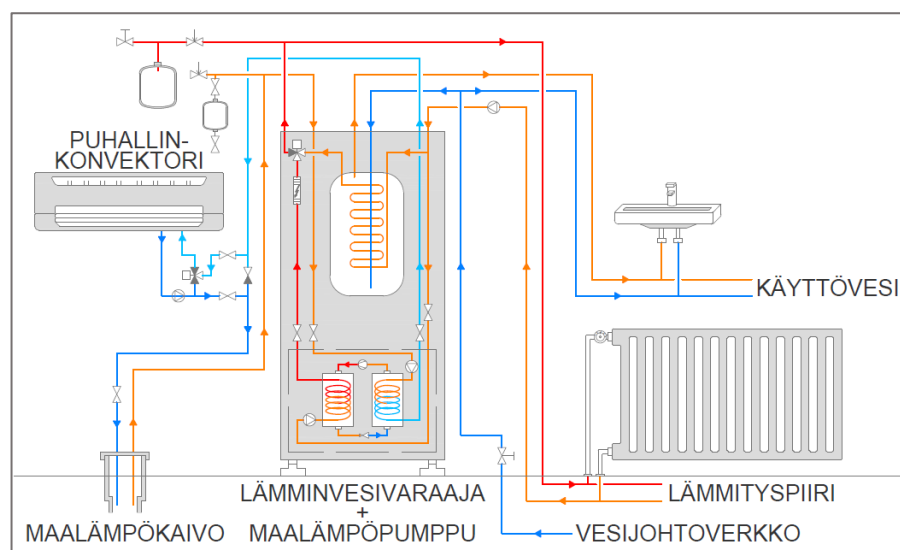
KUVA 9. Maalämpökaivon lämmitys aurinkolämpöjärjestelmällä.

Aurinkolämpöjärjestelmää ei ole järkevää käyttää talvikuukausina, koska aurinkonsäteily on niin vähäistä, ettei aurinkokeräin tuota juurikaan lämpöä. Aurinkolämpöjärjestelmät on myös varustettu säätöyksiköillä, joka estävät pumpun käymisen silloin, kun aurinkokeräimen lämpötila on pienempi kuin lämminvesivaraajan. (Solpro, 2006)

Maalämpökaivon vietyyn energian määrään vaikuttaa lämminvesivaraajasta tulevan aurinkokeräimen keruuliuksen ja maalämpökaivon keruuliuksen lämpötilat, sekä kuinka paljon lämmönsiirrin siirtää lämpöenergiaa keruuliuksien välillä.

#### 4.2 Puhallinkonvektori ja maalämpöjärjestelmä

Puhallinkonvektori voidaan yleensä liittää suoraan maalämpökaivon keruupiiriin, koska puhallinkonvektorissa voidaan käyttää samaa keruuliuosta, jota maapiirissä kulkee. Kuvassa 10 on esitetty yksi tapa, jolla puhallinkonvektori voidaan liittää keruupiiriin. Puhallinkonvektori jäähdyttää sisäilmaa käyttämällä ns. maaviileää tai maakylmää. Maalämpöjärjestelmän kylmä keruuliuos johdetaan maalämpöpumpusta puhallinkonvektorille, jossa siihen sitoutuu ilmasta lämpöä. Keruuliukseen sitoutunut lämpö viedään maalämpökaivoon, johon se varastoituu.



KUVA 10. Maalämpökaivon lämmitys puhallinkonvektorilla

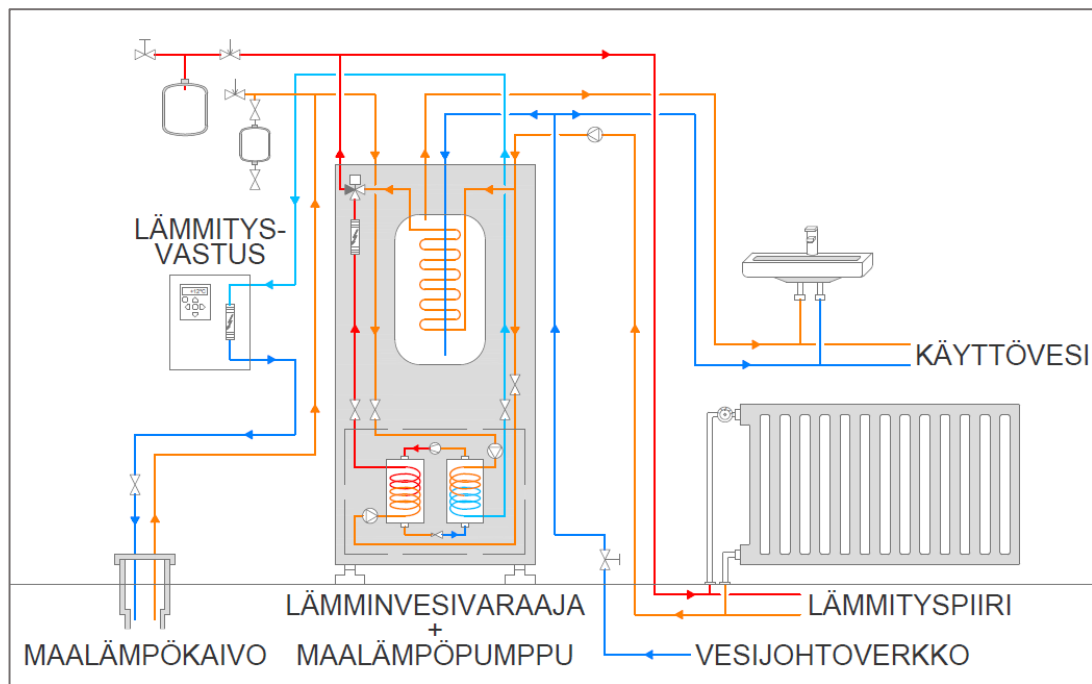
Tavallisemmin puhallinkonvektori asennetaan maalämpökaivon paluuvirtauksen puolelle, jolloin maalämmön keruupiirissä lämmennyttä nestettä lämmitetään lisää ennen kuin se viedään maalämpöpumpulle. Tällöin maalämpöpumpulla saavutetaan parempi COP-arvo. Puhallinkonvektorilla voidaan lämmittää maalämpökaivoa käytännössä vain jäähdytyskaudella ja sen käyttö lämmittimenä ei ole mahdollista maapiirissä.

Puhallinkonvektoreiden ottotehot vaihtelevat omakotitalokokoluokan laitteissa 25 – 150 W:n välillä. Puhallinkonvektoreiden jäähdytysteho on 2 - 9 kW:n välillä, kun keruuliuksen ollessa +5 °C. Tällainen määrä jäähdytystä vaikuttaa suurelta, mutta koska konvektoria käytetään lyhyitä aikoja kerrallaan ja vain tarpeen mukaan, on vaikea arvioida maalämpökaivoon viedyn lämpöenergian määrää.

Aurinkosähkön ylijäämän teho pitäisi helposti riittää pyörittämään puhallinkonvektoria. Jos ylijäämää ei ole tarjolla, jäähdytys tapahtuisi sähköverkosta tulevan sähköön avulla tai sitten jäähdytystä ei käytettäisi. Voi olla tulla myös tilanteita, jolloin jäähdytystä ei tarvitse, vaikka ylijäämää olisi tarjolla. Tällöin ylijäämä myytäisiin sähkön myyjälle.

### **4.3 Lämmitysvastus ja maalämpöjärjestelmä**

Aurinkosähköenergiaa voidaan varastoida maahan yksinkertaisella järjestelmällä. Kytkemällä maalämpökaivon keruupiiriin sähkövastus lämmittämään keruuliuosta. Sähkövastuksena voitaisiin käyttää läpivirtauslämmitintä tai pientä lämminvesivaraajaa.

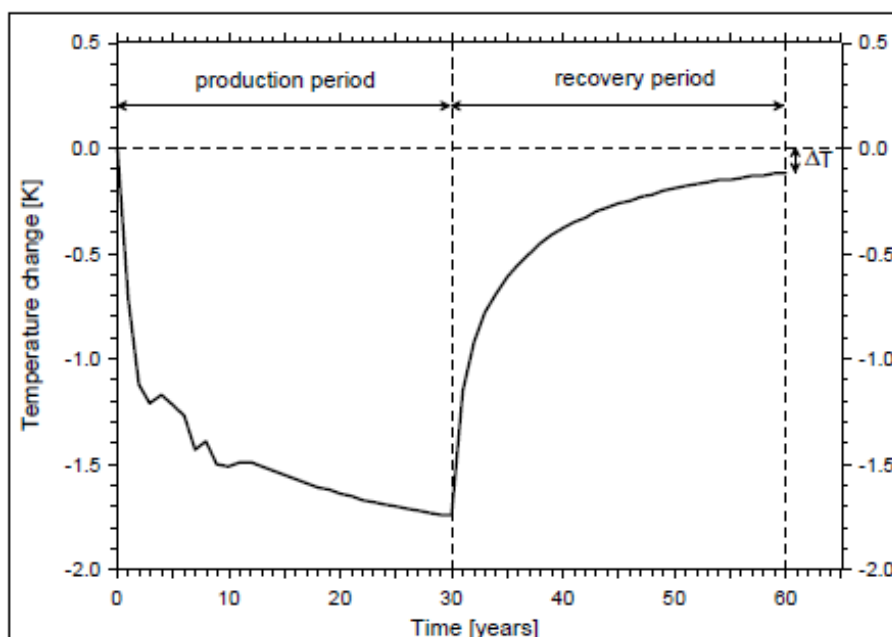


KUVA 11. Maalämpökaivon lämmitys aurinkosähköllä.

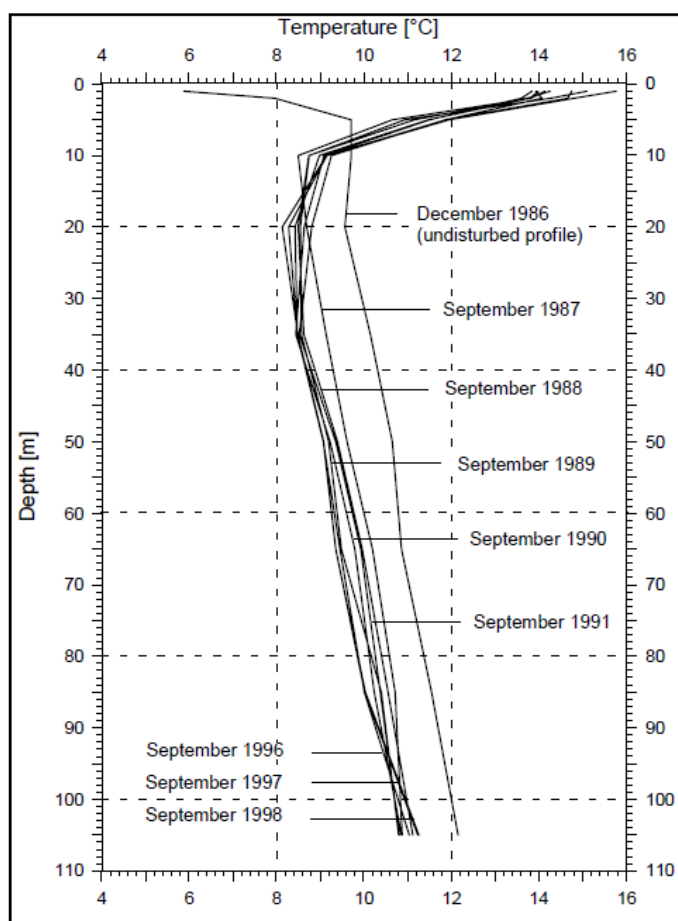
Tällaisella järjestelmällä olisi mahdollista hyödyntää 100 % aurinkosähkön tuotamasta ylijäämästä. Sähkövastuksen tulisi kuitenkin olla tarpeeksi hyvin säädettävissä, jotta se pystyy muuntamaan pienestä suureen olevan ylijäämän.

#### 4.3.1 Maalämpökaivon viileneminen

Eugster ja Rybachin vuonna 2000 julkaistussa raportissa oli tutkittu, kuinka maalämpöjärjestelmän käyttö viilentää sen ympärillä olevan maaperän lämpötilaa. Kuvissa 12 ja 13 on esitetty maalämpökaivon lämpötilan muutos ajan myötä. Laskenta perustui vuosina 1986-1998 saaduista Sveitsissä sijaitsevan 105 m syvän maalämpökaivon mittaustuloksiin. Maalämpökaivoon oli asennettu antureita 0,5 ja 1 metrin päähän maalämpökaivosta eri syvyyksille porattuihin reikiin.



KUVA 12. Laskettu maaperän lämpötilan muutos 50 metrin syvyydessä 30 vuoden tuotannon ja 30 vuoden palautumisen aikana (Eugster & Rybach, 2000)

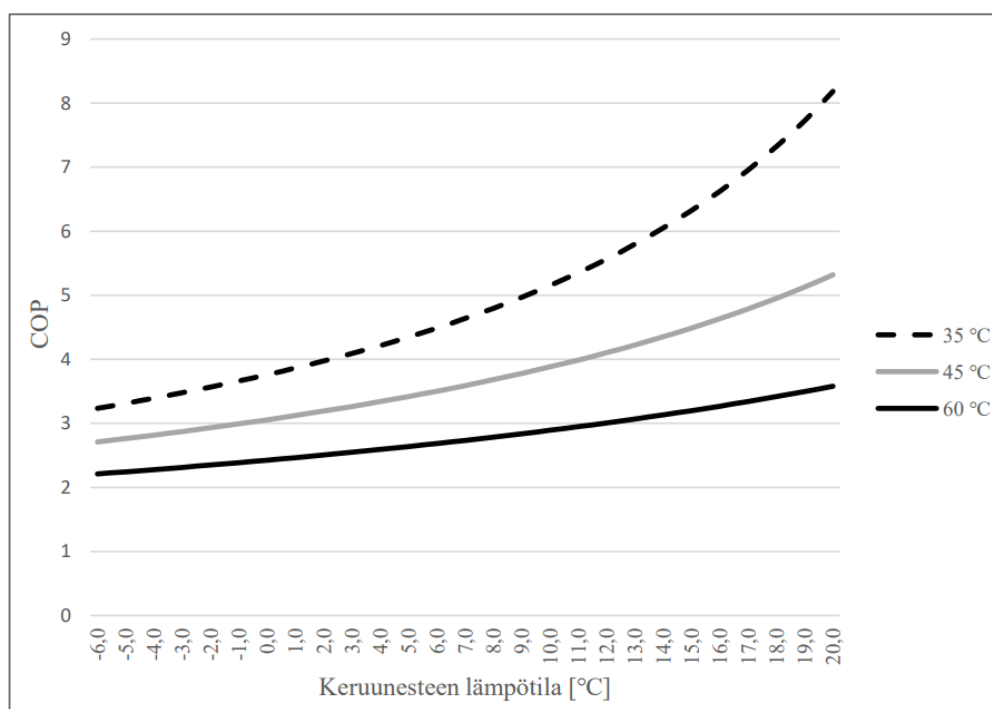


KUVA 13. Maalämpökaivoa ympäröivän maaperän lämpötila vuosien 1986-1998 aikana (Eugster & Rybach, 2000)



Kuvista 12 ja 13 nähdään selvästi, että maaperän lämpötila putoaa eniten sen ensimmäisien toimintavuosien aikana. Tämän jälkeen viileneminen hidastuu, kun lähestytään lämmön johtumisen ja lämmön keräämisen tasapainoa. Maalämpökaivoa ympäröivän maaperän lämpötila putoaa noin 1,7 °C 30 vuoden käytön jälkeen, kuten nähdään kuvasta 12.

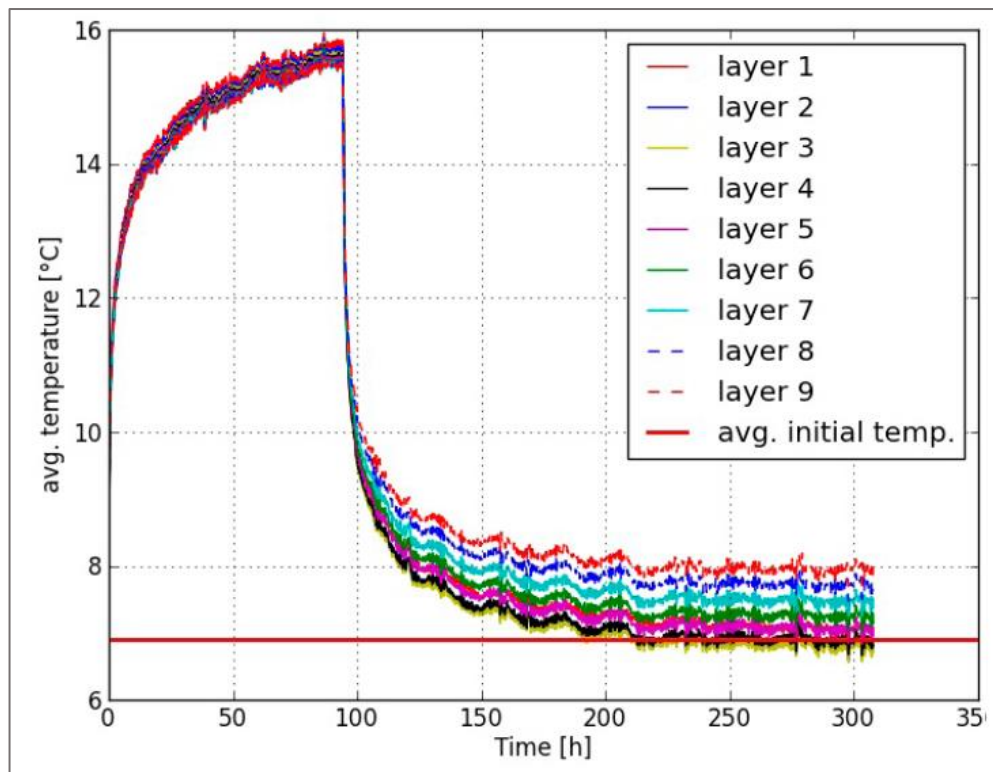
Suomessa maalämpökaivon lämpötila putoaa luultavasti tätäkin enemmän suuremman lämmitystarpeen takia. Tällainen lämpötilan muutos vaikuttaa maalämpöpumpun tehokertoimeen huonontaan sitä hieman. Kuvassa 14 on esitetty keruuliuksen lämpötilan vaikutus maalämpöpumpun tehokertoimeen. Maan pohjoisosissa olevissa maalämpökaivoissa saattaa esiintyä jäätymistä lämpötilan putoamisen takia. Jäätynyt vesi johtaa huonosti lämpöä kallion ja keruuliuksen välillä, huonontaan lämmitysenergian tuotantoa entisestään.



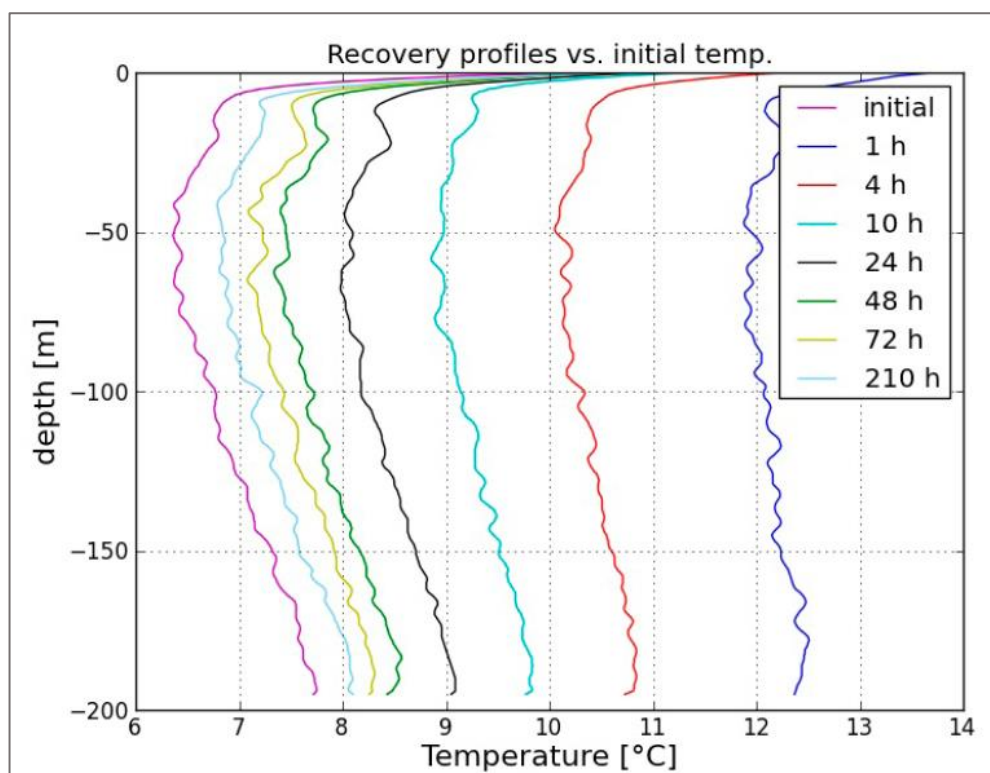
KUVA 14. Maalämpöpumpun tehokerroin menoveden ja keruuliuksen lämpötilan suhteen. (Matias Ranta-Korpi, 2018)

### 4.3.2 Maalämpökaivon lämmittäminen

Vuonna 2014 geologian tutkimuskeskuksen tekemässä tutkimuksessa arvoitiin DTRT -mittausmenetelmää ja kallion lämmönjohtavuutta. Tutkimuksessa mitattiin 200 metriä syvän maalämpökaivon lämpötiloja lämmityksen ja palautumisen aikana. Maalämpökaivon keruuliuosta kierrätettiin kaivossa 94 tuntia, jonka aikana keruuliuosta lämmitettiin jatkuvalla 9 kW:n teholla. Kuvissa 15 ja 16 on esitetty maalämpökaivon lämpötilat mittauksen aikana. Tämän jälkeen lämmitys ja kierto katkaistiin ja kaivon annettiin elpyä 216 tunnin ajan.



KUVA 15. Maalämpökaivon lämpötilat lämmityksen ja palautumisen aikana. (Petri Hakala, GTK, 2014).



KUVA 16. Maalämpökaivon lämpötilat eri syvyyksissä elpymisen aikana. (Petri Hakala, GTK, 2014).

Tutkimuksessa keruuliuksen ja maalämpökaivon lämpötila nousi 64 tunnissa lähes  $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een. 210 tuntia lämmityksen ja keruuliuksen kierron katkaisusta, kaivon keskilämpötila oli laskenut n.  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een päähän kaivon alkuperäisestä häiriintymättömästä keskilämpötilasta. Kuvassa 15 olevan keruuliuksen lämpötila ei kerro elpymisvaiheessa muuta kuin aivan maanpinnassa olevan lämpötilan, koska neste ei kiertänyt kaivossa elpymisen aikana. Tämän takia nesteen lämpötila näyttää kuvassa paljon korkeammalta kuin kaivon lämpötila.

Näiden tulosten perusteella voidaan päätellä, että maalämpökaivoon voidaan varastoida energiaa ja pienentää maalämmön käytöstä johtuvaa viilentymistä. Varastoitu lämpöenergia tulisi kuitenkin käyttää mahdollisimman nopeasti parhaan hyödyn saamiseksi, koska kaivon lämpötila putoaa nopeasti lämmittämisen lopettamisen jälkeen. Jos kesän aikana haluttaisiin lämmittää maalämpökaivoa aurinkosähkön avulla talven varaksi, niin kesällä varastoituneen energian hyöty talveksi jäisi todennäköisesti melko pieneksi.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Maalämpökaivon lämpötila putoaa muutaman asteen sen käytön myötä. Tämä pienentää maalämpöpumpun tehokerrointa huonontaan sen lämmöntuottoa. Aurinkoenergian varastoimisella maalämpökaivoon voidaan vähentää viilenemisen aiheuttamaa vaikutusta lämmöntuotantoon. Maalämpökaivoon varastoitu lämpö haipuu nopeasti, joten varastoitu energia tulisi käyttää mahdollisimman nopeasti, jolloin siitä saataisiin mahdollisimman suuri hyöty.

Maalämpökaivoon voidaan varastoida lämpöenergiaa opinnäytetyössä esitellyillä tavoilla. Aurinkolämpöjärjestelmällä voidaan lämmittää maalämpökaivoa samalla, kun sitä käytetään käyttöveden tai lämmitysveden lämmittämiseen. Aurinkolämpöjärjestelmän liittäminen maalämpöjärjestelmään on hieman epäkäytännöllistä ja voi aiheuttaa kustannuksia ja järjestelmän säätelyä. Puhallinkonvektoreilla lämmitetään maalämpökaivoa siirtämällä lämpöä huoneilmasta maalämpökaivoon. Puhallinkonvektori voidaan myös liittää suoraan maalämpöjärjestelmään, jolloin suuria erilliskustannuksia ei synny. Aurinkosähköenergialla voitaisiin varastoida lämpöä maalämpökaivoon sähkövastuksen avulla. Tähän tarvittaisiin sähkövastus, joka kykenisi muuntaman tuotetun aurinkosähkön lämmöksi tarpeen vaatiessa.

Siitä kuinka paljon tästä varastoituneesta energiasta on hyötyä lyhyen ja pitkän aikavälin energiansäästöstä, on vaikea sanoa tällä hetkellä saatavissa olevien tietojen perusteella. Maalämpöpumput ovat viime vuosina alkaneet tallentamaan lokitietojaan lämpötiloista ja maalämpöpumpun toiminnasta. Jos näitä lokitietoja kerättäisiin useasta kohteesta, voitaisiin paremmin nähdä maalämpökaivon viilentymisen vaikutus maalämpökaivosta saatuun lämmitysenergiaan ja maalämpöpumpun energiankulutukseen.

Aurinkoenergian maalämpökaivoon varastoimisen kannattavuudesta, verrattuna sen myymiseen, ei käsitelty. Mutta ottaen huomioon, että aurinkosähköjärjestelmät suunnitellaan tällä hetkellä sillä perusteella, että mahdollisimman suuri osa tuotetusta aurinkosähköstä saadaan kulutettua itse, ei pitäisi olla paljoa väliä myydäänkö vai yritetäänkö sitä varastoida.

## LÄHTEET

- Adato. 2011. Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011. Luettu 19.7.2019  
[https://www.vattenfall.fi/4a8af8/globalassets/energianeuvonta/kodin-sahkonkulutus/kotitalouksien\\_sahkonkaytto\\_2011\\_tutkimusraportti.pdf](https://www.vattenfall.fi/4a8af8/globalassets/energianeuvonta/kodin-sahkonkulutus/kotitalouksien_sahkonkaytto_2011_tutkimusraportti.pdf)
- Boxwell, M. 2013. Solar Electricity Handbook – A simple, practical guide to solar energy: how to design and install photovoltaic solar electric systems. 8. painos United Kingdom; Greenstream Publishing.
- Eicker, U. 2014, Eenergy Efficient Buildings with Solar and Geothermal Resources. 1.painos. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- Eugster, W. & Rybach, L. 2000. Sustainable production from borehole heat exchanger systems. [https://www.researchgate.net/publication/267998330\\_Sustainable\\_production\\_from\\_borehole\\_heat\\_exchanger\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/267998330_Sustainable_production_from_borehole_heat_exchanger_systems)
- Euroopan komissio, 2017. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Luettu 5.5.2019.  
[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP)
- Geologian tutkimuskeskus. n.d Geoenergia. Luettu 16.6.2019  
<http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/geoenergia/index.html>
- GTK Geologian tutkimuskeskus, n.d. Geoenergia. Luettu 25.5.2019  
<http://www.gtk.fi/energia/geoenergia.html>
- Geologian tutkimuskeskus. 2014. Tutkimusraportti 211. Evaluation of Distributed Thermal Response Test (DTRT): Naapurinkartano as a case study. Luettu 4.11.2019 [http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr\\_211.pdf](http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_211.pdf)
- Matias Ranta-Korpi. 2018. Aurinko- ja ilmalämmön hyödyntäminen maalämpöjärjestelmän energiatehokkuuden parantamisessa. Luettu 7.12.2019  
[https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/33736/master\\_Ranta-Korpi\\_Matias\\_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/33736/master_Ranta-Korpi_Matias_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Motiva Oy. 2016. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. Luettu 26.4.2019.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_liitetty\\_aurinkosahkojarjestelma](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma)
- Motiva Oy. 2018. Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus. Luettu 27.4.2019.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus)
- Motiva Oy. 2018. Mitoitusmenetelmiä. Luettu 27.4.2019.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus/mitoitusmenetelmia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia)

Motiva Oy. 2016. Pohjakulutukseen perustuva mitoitus. Luettu 2.5.2019.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus/mitoitusmenetelmia/pohjakulutukseen\\_perustuva\\_mitoitus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/pohjakulutukseen_perustuva_mitoitus)

Motiva Oy. 2016. Keskimääräinen tai enimmäiskulutus kesällä. Luettu 2.5.2019.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus/mitoitusmenetelmia/keskimaarainen\\_tai\\_enimmaiskulutus\\_kesalla](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/keskimaarainen_tai_enimmaiskulutus_kesalla)

Motiva Oy. 2016. Nollaenergiamitoitus. Luettu 2.5.2019.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus/mitoitusmenetelmia/nollaenergiamitoitus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/nollaenergiamitoitus)

Motiva Oy 2019. Maalämpöpiirin hyödyntäminen aurinkolämmön varastoinnissa. Luettu 10.12.2019. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelman\\_kaytto/aurinkolammon\\_varastointi/maalampopiirin\\_hyodyntaminen\\_aurinkolammon\\_varastoinnissa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelman_kaytto/aurinkolammon_varastointi/maalampopiirin_hyodyntaminen_aurinkolammon_varastoinnissa)

Motiva Oy. 2012. Lämpöä omasta maasta. Luettu 15.6.2019  
[https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa\\_omasta\\_maasta\\_Maalampopumput.pdf](https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf)

Motiva 2011. Hanki hallitusti maalämpöjärjestelmä. Luettu 26.7.2019  
[https://www.motiva.fi/files/4764/Hanki\\_hallitusti\\_maalampojarjestelma.pdf](https://www.motiva.fi/files/4764/Hanki_hallitusti_maalampojarjestelma.pdf)

Perälä, R. 2017. Aurinkosähköä. 1.painos. Helsinki: Alfamer/Karisto Oy.

Solpros Ay, 2006. Aurinkolämpöjärjestelmien perusteet, mitoitus ja käyttö. Luettu 22.10.2019. <http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/OPAS.pdf>

Sun Energia Oy, 2016. Aurinkoenergialaskuri. Luettu 9.5.2019  
<https://app.sunenergia.com/>

Tahkokorpi, M., Erat, B., Hänninen, P., Nyman, C., Rasinkoski, A. & Wiljander, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. 1.painos. Helsinki: Into Kustannus Oy.

TEM Työ- ja elinkeinoministeriö, n.d. Uusiutuva energia. Luettu 25.5.2019  
<https://tem.fi/uusiutuva-energia>

Ympäristöministeriö, 2013. Ympäristöopas 2013. Luettu 26.7.2019  
[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO\\_2013.pdf](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf)